

方思达, 江志红. 2013. 全球变暖背景下江淮地区降水强度分布结构变化的特征分析 [J]. 气候与环境研究, 18 (6): 757–766, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.12050. Fang Sida, Jiang Zhihong. 2013. Analysis of the change in the precipitation intensity distribution in the Yangze–Huaihe River basin under global warming [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (6): 757–766.

全球变暖背景下江淮地区降水强度分布结构变化的特征分析

方思达 江志红

南京信息工程大学大气科学学院气象灾害省部共建教育部重点实验室, 南京 210044

摘 要 利用 1961~2006 年江淮地区 80 个站点的逐日降水资料, 根据百分位数确定极端降水阈值的方法, 比较了全球气候变暖背景下该区域降水强度的分布结构特征。结果表明, 在全球气候典型暖异常的年份里, 江淮地区极端降水日数占总降水日数的比重比冷年增加 30% 以上, 极端降水总量的比重增加 13% 左右; 而微量降水日数所占比重比冷年减少近 60%, 微量降水总量减少了 80%, 说明全球变暖后江淮地区降水强度分布结构呈现弱降水减少, 强降水增多的显著两极分化特征, 且该特征在江淮地区基本一致。冬、夏季对比表明, 冬季的变化幅度比全年和夏季更大。可见全球变暖背景下未来江淮地区降水强度分布结构出现两极分化趋势可能性增加。

关键词 全球变暖 江淮 降水强度分布结构 微量降水 极端降水

文章编号 1006-9585 (2013) 06-0757-10

中图分类号 P426.61⁺4

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.12050

Analysis of the Change in the Precipitation Intensity Distribution in the Yangze–Huaihe River Basin under Global Warming

FANG Sida and JIANG Zhihong

Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract On the basis of the percentiles of different precipitation intensities, daily precipitation data from 80 stations taken during 1961–2006 are used to analyze the distribution characteristics of different precipitation intensities in the Yangze–Huaihe River basin under global warming. The results show that the proportion of heavy rain days in the total precipitation days in the Yangze–Huaihe River basin in the five warmest years according to global temperature is 30% more than that in the five coldest years. However, light rain reflects the opposite characteristics: The proportion in the warm years is nearly 60% less than in the cold years. The trends are the same in the proportions of heavy rain and light rain in the total precipitation amounts; the relative differences are about 13% and 80%, respectively. The distribution of precipitation intensities tends toward “the rich get richer, and the poor get poorer” under global warming. In addition, the difference in winter is greater than that in summer. The precipitation intensity distribution over the Yangze–Huaihe River basin tends to be polarized in the future under global warming.

Keywords Global warming, Yangze–Huaihe River basin, Distribution of different precipitation intensity, Extreme precipitation, Light precipitation

收稿日期 2012-03-20 收到, 2012-07-06 收到修定稿

资助项目 公益性行业 (气象) 科研专项 GYHY200906016, 国家科技支撑计划项目 2009BAC51B01

作者简介 方思达, 男, 1987 年出生, 硕士研究生。E-mail: starf123456@163.com

通讯作者 江志红, E-mail: zhjiang@nuist.com

1 引言

20 世纪以来,全球变暖背景下降水的变化规律的研究引起了学术界的广泛关注。众所周知,气温升高将导致大气中水汽含量增多,进而对降水产生影响 (Trenberth, 1998; Trenberth et al., 2003)。尽管没有明确的证据证实全球降水具有长期的变化趋势,但不同区域、不同强度降水的变化不一,如 Gu et al. (2007) 等研究指出,虽然近 30 年来全球降水的变化总趋势基本为零,但热带地区的降水增加,而北半球中纬度降水减少。Karl and Knight (1998) 指出,美国地区近百年来雨量增加主要是由极端降水事件的增加导致。Fujibe et al. (2005) 研究结果表明,20 世纪日本地区强降水频率增加,弱降水频率减少; Shiu et al. (2009) 也发现了台湾地区相似的变化特征。IPCC (2007) 第四次评估报告指出,近年来全世界范围内观测到干旱和强降水事件的发生频率皆有所上升,并且这种趋势可能会持续和进一步发展。极端降水的这种变化很可能与全球变暖有关 (Held and Soden, 2006; Allan and Soden, 2008), Karl and Trenberth (2003) 在全球范围内选取降水总量相同的站点,研究发现平均温度较高的站点会出现更多的强降水和更少的弱降水; Allan and Soden (2008) 使用 1979~2003 年的卫星观测资料研究发现,在更为暖湿的气候下,热带地区强降水事件将会增多,而弱降水事件将会减少,多模式集合模拟的结果也证实了这一现象。事实上,降水强度分布结构对全球变暖的响应可能更敏感,也更有意义,如 Lau and Wu (2007) 对热带地区降水进行研究发现,1979~2003 年该地区强降水和微量降水呈增加趋势,而中等强度降水呈减少趋势; Gutowski et al. (2007) 使用 Gamma 函数拟合降水分布情况,讨论了美国地区不同气候背景与降水概率密度分布的关系。

而针对中国地区极端降水的研究工作,之前主要集中在极端降水的演变规律及空间分布等方面 (严中伟和杨赤, 2000; Zhai et al., 2005; Cai et al., 2007)。研究指出,中国地区弱降水频率总体呈减小趋势 (Qian et al., 2007), 但极端强降水的变化较为复杂,具有明显的地域性和局地性 (Zhai et al., 2005)。近年来也有一些学者对不同强度降水进行了趋势分析: 李红梅等 (2008) 采用传统对降水强

度的定义方法,分析了我国东部夏季不同强度降水的趋势及贡献; 王小玲和翟盘茂 (2008) 使用百分位阈值的方法分区域讨论了我国各等级降水的趋势变化,这些工作对我国降水变化做了较为详细的研究。显然,极端降水事件的增多,实际上是强降水出现的频次、强度增大了,干旱则大多与微量降水出现频次、强度的减少有关,旱涝变化实际上就是降水强度分布的结构变化,而这种降水强度分布结构的改变是否与全球变暖相关? 相关研究尚不多见。为此,本文使用中国气象局江淮地区地面观测站的日降水资料,定量比较分析了全球不同冷、暖年下江淮地区降水强度分布结构特征,并着重分析了微量降水及极端强降水贡献率的变化。

2 资料和分析方法

2.1 资料说明

2.1.1 观测资料

本文所使用的观测资料来源于中国气象局 743 个地面观测站的逐日降水资料,选取了江淮区域 ($28^{\circ}\text{N}\sim 34^{\circ}\text{N}$, 110°E 以东) 1961~2006 年共 80 站完整的逐日降水资料。

2.1.2 全球平均温度资料

全球温度资料使用了 NOAA 提供的 1961~2006 年全球平均温度距平资料 (<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html> [2011-11-30])。

2.2 方法介绍

2.2.1 降水等级阈值的确定

将每个站点 1961~2006 年大于等于 0.1 mm 降水资料进行从小到大的排序,依据降水强度百分位阈值法 (Bonsal et al., 2001), 确定各分位数上对应的降水强度。其中接近 100% 代表非常强的降水,而接近 0 的表示非常弱的降水,将逐日降水强度分为 12 个等级,各等级依次为 (0, 10%]、(10%, 20%]、(20%, 30%]、(30%, 40%]、(40%, 50%]、(50%, 60%]、(60%, 70%]、(70%, 80%]、(80%, 90%]、(90%, 95%]、(95%, 99%]、(99%, 100%]。其中本文定义降水强度小于等于 10% 分位数为微量降水,大于 95% 分位数为极强降水。

2.2.2 贡献率计算

为定量分析气候变暖前后各强度降水对总降水贡献的差异情况,我们计算了每个站点不同强度

降水日数占总降水日数的比例, 称其为该强度降水日数贡献率; 而不同强度降水总量占总降水量的比例, 称其为该强度降水量贡献率。

在计算江淮区域各强度降水日数贡献率及降水量贡献率时, 使用了各个站点贡献率的算数平均值, ± 1 个标准偏差来反映区域内各个站点间的差异情况。

2.2.3 冷、暖年降水差异的检验方法

本文使用关于条件平均值差异的显著性检验方法。具体方法为:

$A_i (i=1, 2)$ 代表较冷气候或较暖气候, $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in_i}$ 为 A_i (冷或暖) 气候态下各强度降水贡献率的样本, 每组样本容量为 n_i , 每组平均记为

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij} \quad (1)$$

令

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}, \quad n = \sum_{i=1}^r n_i, \quad (2)$$

$$Q_1 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2, \quad (3)$$

$$Q_2 = \sum_{i=1}^r n_i (\bar{X}_i - \bar{Y})^2, \quad (4)$$

其中, Q_1 反映了 X_{ij} 本身方差的大小, 称为组内离差平方和; Q_2 反映了各组变量 X_i 均值间的差异, 称为组间离差平方和。

若冷、暖气候态下该强度降水贡献率无差异, 统计量 $F=Q_2/Q_1/(n-2)$ 服从第一自由度为 1, 第二自由度为 $n-2$ 的 F 分布。

3 冷、暖年江淮地区降水强度分布结构的对比分析

3.1 极端等级阈值的分布及异常冷、暖年的确定

由于不同地区的区域平均降水量不同, 因此对

于不同地区而言, 采取统一的阈值标准来进行研究具有一定的局限性。因此本文对于极端降水阈值的定义采取了百分位阈值的方法, 对江淮区域各台站的极端降水阈值进行了定义。根据此定义, 图 1 给出了江淮区域小于等于 10% 强度微量降水和大于等于 95% 强度的极端强降水的阈值分布情况。

从图中可以看到, 江淮地区微量降水强度阈值大部分都集中在 0.2~0.4 mm/d, 而极端强降水阈值的定义在区域内有着一定的区别。阈值的大值区多出现在江淮地区南部, 基本上强度都在 40 mm/d 左右, 浙江、苏南以及湖北西北部为阈值的小值区, 部分站点不足 30 mm/d。

Liu et al. (2009) 研究了极端降水变化与气温变化的关系, 发现台湾地区降水强度分布结构与全球平均温度的关系比局地温度更好, 并指出这种规律具有一定的普遍性。这表明区域降水强度分布结构的变化可能与全球气候大背景关系更为密切。因此, 在选取典型冷、暖异常年时, 本文依据 1961~2006 年全球平均温度距平序列, 挑选出期间 5 个最冷年和 5 个最暖年进行合成分析, 其中最冷的 5 年为 1964、1976、1974、1965、1971 年, 最暖的 5 年为 2005、1998、2003、2002、2006 年。可以看到暖年多集中在 20 世纪 90 年代以后, 而冷年多集中在 20 世纪 60、70 年代, 选取的冷、暖年代表了全球变暖前后两个典型的时期。

3.2 江淮地区冷、暖年的降水强度分布结构差异

表 1 给出了江淮地区不同情况下的平均年总降水量、平均年总雨日数以及平均降水强度情况。表中可以看到, 在全球气温最低的 5 年里, 其平均年总降水量要小于平均状况, 而降水日数要多于平均状况, 因此江淮地区冷年的平均降水强度要小于平均状况。而在全全球气温最高的 5 年里, 情况恰好相

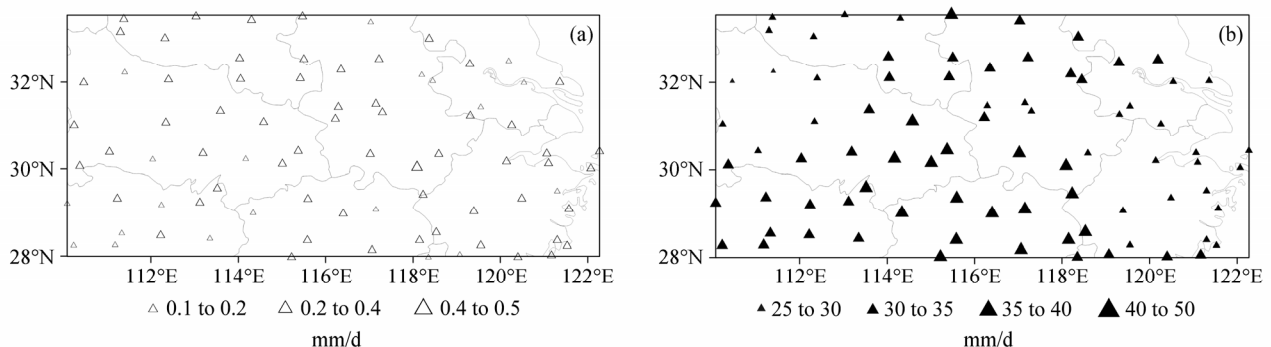


图 1 江淮地区极端降水阈值分布: (a) 微量降水 ($\leq 10\%$); (b) 极端强降水 ($> 95\%$)

Fig. 1 The threshold value distribution of extreme precipitation in the Yangtze-Huaihe basin: (a) Light rain ($\leq 10\%$); (b) heavy rain ($> 95\%$)

反。随后计算了冷、暖年的相对差异情况，使用冷、暖年里降水量（日数、强度）的差值所占 46 年平均降水量（日数、强度）的比重来表示。可以看到，该区域暖年平均降水量比冷年多 9.1%，总雨日数比冷年少 15.7%，因此使得该地区暖年的平均降水强度比冷年大 25.1%（通过 99%信度检验）。

表 1 江淮区域降水基本特征及冷、暖年对比
Table 1 The basic characteristics of precipitation and the contrast in cold years and warm years in the Yangze-Huaihe River basin

	平均年降水总量 (mm/a)	平均年总雨 日数 (d/a)	平均降水强度 (mm/d)
1961~2006 年	1261.07	139.15	9.06
冷年	1179.33	148.20	7.96
暖年	1293.55	126.39	10.23

在全球温度较高的年份里，江淮地区无论是降水总量还是平均降水强度都要大于冷年。上述现象与全球变暖后，大气的持水量增加，同时由于地球系统能量的增加进一步加速了水循环等因素密切相关。可是，全球变暖是否对江淮区域不同强度的降水有着同样的影响？众所周知，相对于降水气候平均态，极端降水的变化将造成更大的影响。为此，我们较细致的对比了江淮地区冷、暖年不同强度降水分布结构的变化特征。

江淮地区典型冷、暖年下全年、夏季和冬季的降水强度分布结构对比情况如图 2 所示，每个站点全年、夏季（6~8 月）、冬季（12 月至次年 2 月）阈值的确定分别依据百分位阈值方法得到。

江淮地区的降水强度分布结构在冷、暖年体现出较明显的差异，这一点可以从图 2a 和 2b 中清晰的体现出来。图中横坐标为依据百分位数方法定义得到的不同等级的降水强度，折线上的每一个点是江淮区域 80 个站在该等级上的日数贡献率的平均值，竖线代表空间差异标准差的 2 倍。在图 2a 中可以看到，在较低百分位强度上，暖年的微量降水日数贡献率平均值小于冷年，尤其是在微量降水（ $\leq 10\%$ ）部分，冷年贡献率的平均值几乎是暖年贡献率平均值的一倍；而从 30%强度开始，体现出了明显的暖年的日数贡献率大于冷年的日数贡献率的情形，在极端降水（ $>95\%$ ）部分，冷年的极端降水日数贡献率要小于暖年。图 2b 为各等级降水总量贡献率的情况，可以看到，大于 80%强度的

降水总量占据了全年总降水量的 60% 以上，因此冷、暖年降水量的差异主要体现在较强降水部分。冷年和暖年极端降水总量占总降水量的比重的平均值分别为 30.8%和 35.0%，而在微量降水部分，尽管其降水量贡献率很小，但也体现出了冷年要多于暖年的特征。

图 2c 和图 2e 给出了江淮地区冬、夏季各等级降水日数贡献率的特征。从中可以看出，相比较于全年情况来看，夏季在微量降水部分的差异并不明显，尤其是在中等强度降水等级（20%, 90%]部分，冷、暖年的贡献率十分接近，变化不大。而极端强降水（ $>95\%$ ）及微量降水在冷、暖年的差异都要大于其他强度的降水，冷年的强降水日数贡献率的平均值为 4.3%，微量降水日数贡献率为 10%左右，暖年的强降水日数贡献率平均值为 5.8%，微量降水日数贡献率为 14%左右。

从冬季来看，降水分布形态的差异更为明显，暖年冬季降水出现两极分化分布特征。冷年冬季的微量降水日数贡献率为 20%以上，而暖年冬季的微量降水贡献率仅为 7%左右，远小于冷年的情形，减少的贡献率有相当一部分转移到了较大强度的降水部分。冷年冬季和暖年冬季的强降水日数贡献率分别为 4.1%和 7.4%，相差在 60%以上。上述对比中可以看到，从冷、暖年不同强度降水日数贡献率上来看，冬季极端降水比夏季的差异更大。

江淮地区冬、夏季各等级降水量贡献率如图 2d 和 2f 所示。两个季节里冷、暖年对比的形态类似，都较清晰的反应了各等级降水量贡献率在冷、暖年所体现出来的差异。冷、暖年的降水量贡献率在 90%降水强度等级附近接近，在小于 90%降水强度等级部分，冷年的降水量贡献率要大于暖年，而极端强降水（ $>95\%$ ）量贡献率方面，暖年大于冷年。冷、暖年冬季的强降水量贡献率分别为 25.4%和 30.6%，冷、暖年夏季强降水量贡献率分别为 28.2%和 33.7%。从冷、暖年极端强降水量贡献率的对比来看，冬季和夏季的差异不大。

此外结合降水总量贡献率和降水日数贡献率，发现江淮地区暖年中等强度降水（30%, 90%]强度等级）日数贡献率基本上比冷年大，但是其总量的贡献率却小于冷年情形。降水日数增加，而总量减少，因此对于中等强度降水而言，暖年的平均降水强度要小于冷年，这可能导致有效降水的减少。这

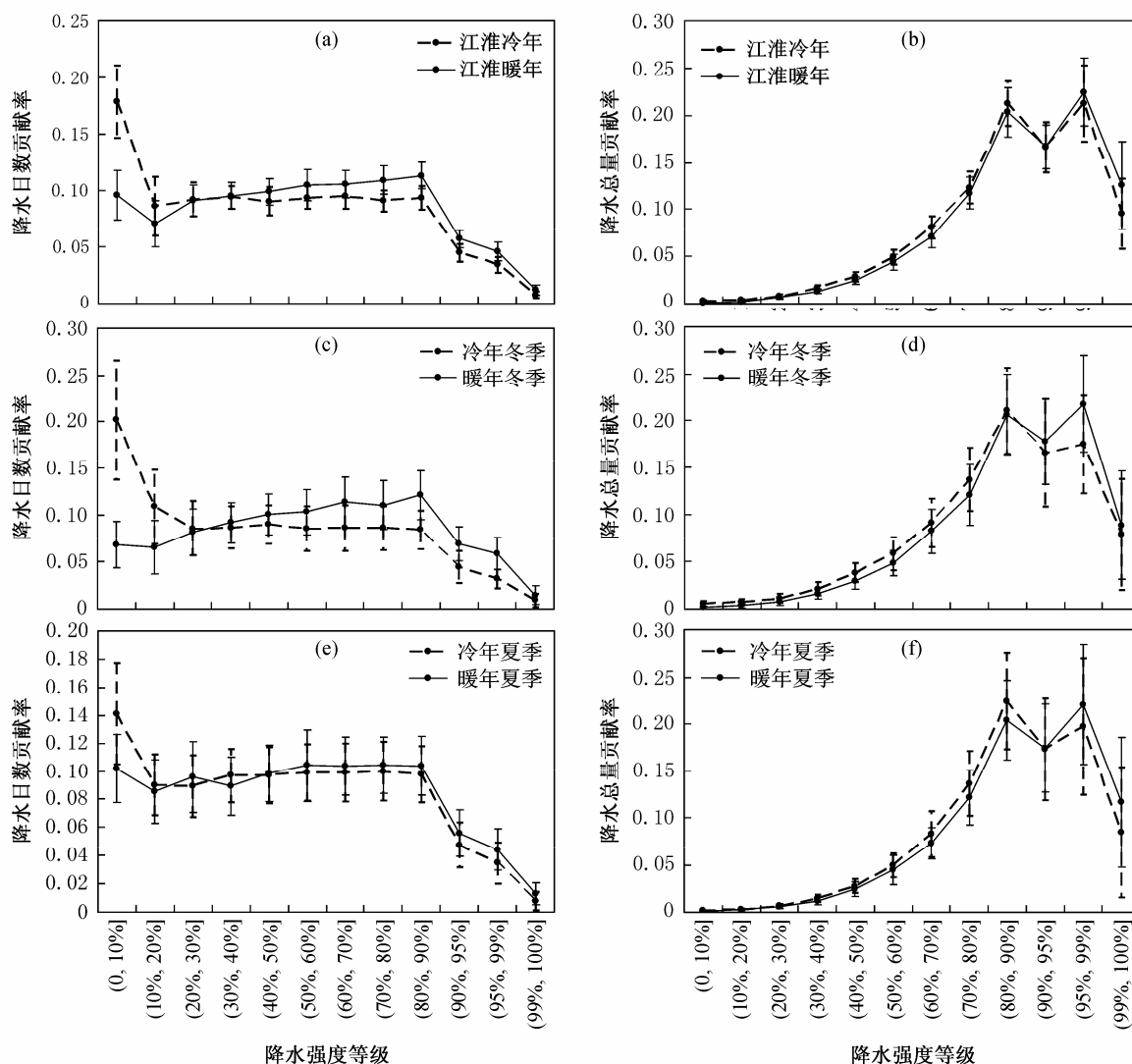


图2 江淮地区冷、暖年各强度 (a、c、e) 降水日数贡献率及 (b、d、f) 降水量贡献率的对比情况 (各强度上对应的圆点代表区域各站点该强度贡献率的平均值, 竖线代表站点间差异标准差的 2 倍): (a、b) 全年; (c、d) 冬季; (e、f) 夏季

Fig. 2 Comparison of the contribution rates of (a, c, e) precipitation days and (b, d, f) precipitation amount for different precipitation intensity between the warm years and cold years observed at the 80 stations in the Yangze-Huaihe River basin during 1961–2006: (a, b) Annual; (c, d) winter; (e, f) summer

种现象的结果很可能导致江淮地区出现干旱与洪涝并存的极端气候。

通过以上的分析可以看到, 江淮地区降水强度分布结构的特征在冷、暖年存在差异, 且在微量降水和极端强降水等级上差异显著 (通过 99% 信度检验)。这种差异无论在全年、夏季还是在冬季都有不同程度的体现。在全球温度较高的年份, 降水趋于两极化的特征明显。暖年极端强降水日数和总量贡献率分别达到了 5.8% 和 35%, 高于冷年的 4.2% 和 30.8%; 而微量降水日数贡献率方面的差异更为显著, 冷年为 17.9%, 暖年仅为 9.6%。冬、夏季对比表明, 冬季极端强降水和微量降水的差异明显大于

夏季。以上现象表明全球变暖可能导致江淮地区的降水强度结构发生调整, 使得微量降水减少, 而强降水增多, 而冬季有可能是响应最为显著的季节。

3.3 区域分布结构

进一步研究区域内部的情况, 得到的结果如图 3 所示。从图 3a、3b、3c 可以看到, 总体上来说, 江淮地区年总降水量的空间分布情况具有较明显的地域特征, 从北向南依次增多, 与总雨日数的分布特征类似。高值地区出现在湖南、湖北和安徽三省交界地区, 低值地区出现在江淮区域北部, 年降水量低于 1000 mm, 年总雨日数少于 100 d。相对于总雨量和总雨日数而言, 该区域的降水强度分布

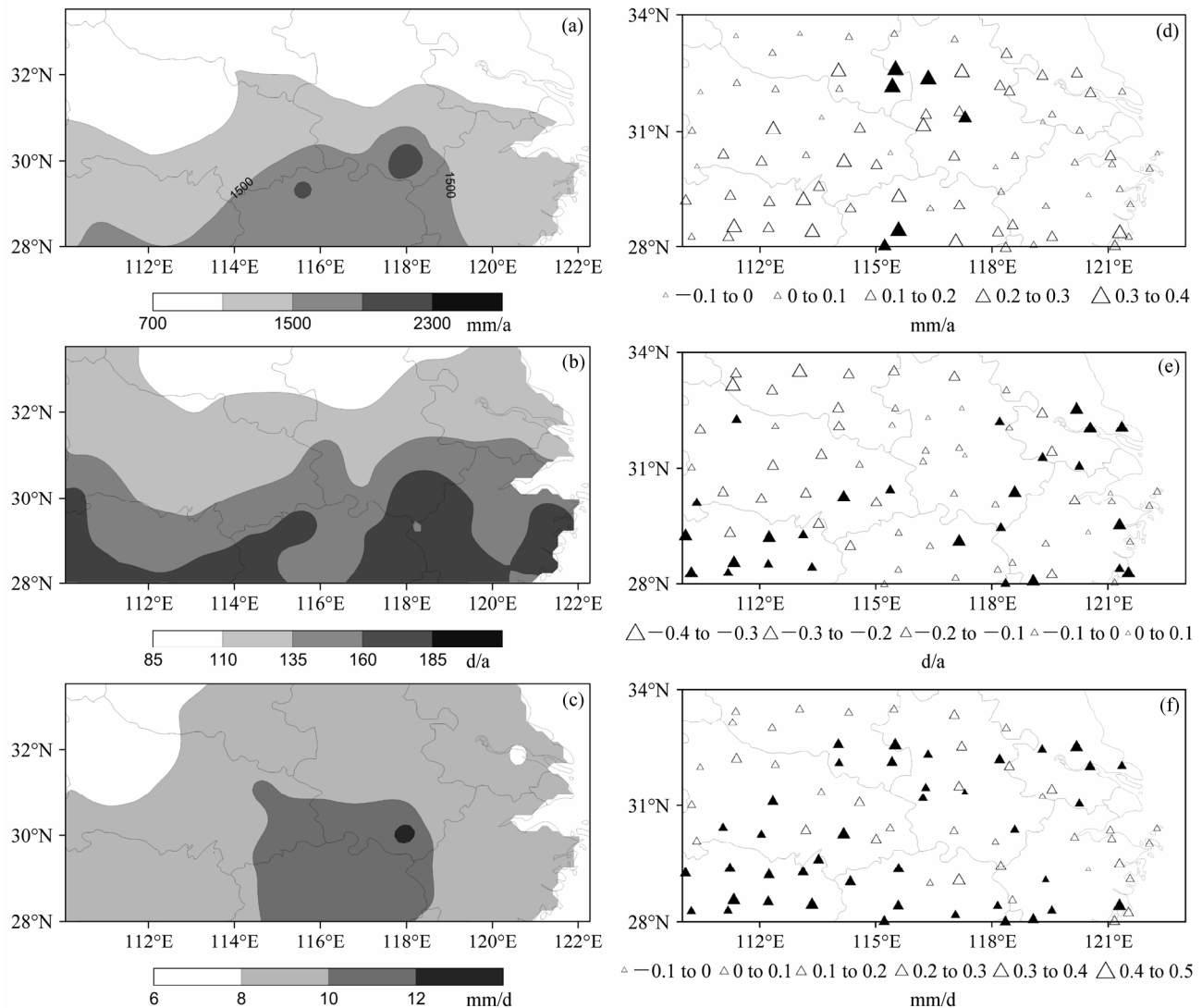


图3 江淮地区 (a、b、c) 1961~2006 年平均降水情况空间分布以及 (d、e、f) 暖、冷年的差异情况 (▲代表通过 95% 信度检验的站点): (a、d) 平均降水总量; (b、e) 平均总降水日数; (c、f) 平均降水强度

Fig. 3 The spatial distribution of (a, b, c) precipitation and (d, e, f) the differences between warm years and cold years (▲ indicates statistically significant at the 0.05 level) over the Yangze-Huaihe River basin during 1961–2006: (a, d) Precipitation amount; (b, e) precipitation days; (c, f) precipitation intensity

相对均匀, 仅在上述三省交界处体现出最大值, 其余地区差别不大。

图 3d、3e、3f 分别为江淮地区冷、暖年降水总量、降水日数和平均降水强度的相对差异情况。图中可以看到, 该地区各站点冷、暖年的降水总量和降水日数贡献率差异较为一致。暖年降水总量基本上都要多于冷年, 较大的差异出现在安徽北部及湖北、湖南和江西三省交界地区。暖年的降水日数除个别站点外均少于冷年, 冷、暖年降水日数差异最大的地区出现在江淮地区东北部以及西南部, 日数贡献率的相对差异在 20% 以上。结合上述因素, 使得该区域暖年的平均降水强度都要大于冷年, 大

值区出现在东北部和西南部, 部分站点的差异在 40% 以上。

3.4 冷、暖年微量降水和极端强降水贡献的分布及差异对比

从前面的分析中, 我们看到, 在全球温暖和寒冷的年份里, 江淮地区降水强度分布结构的特征体现出了一定的差别, 我们进一步定量的分析了微量降水和极端强降水贡献率的差异情况。微量降水贡献率的差异表示为冷、暖年的微量降水日数 (微量降水总量) 贡献率的差所占 46 年平均微量降水日数 (微量降水总量) 贡献率的比重, 极端强降水的计算方法相同。这种差异代表了微量 (强) 降水相

对于气候平均态的变化幅度。

3.4.1 微量降水贡献率的差异分布及对比

图 4 和图 5 分别给出了江淮地区微量降水日数及降水总量贡献率在冷、暖年的差异情况。年差异情况如图 4a 和 5a 所示。图中可以看到, 该区域冷年微量降水日数贡献率和降水量贡献率基本都要大于暖

年, 这意味着在温度更高的年份里, 微量降水对于总降水的贡献减小。无论是降水日数还是降水总量的贡献, 冷、暖年的相对差异几乎都在 30% 以上 (均通过 99% 信度检验)。从空间分布上来看, 两者的分布情况也较为接近, 其中大值区出现江淮地区东北部以及西南部分站点, 暖年比冷年减少了 90% 以上。

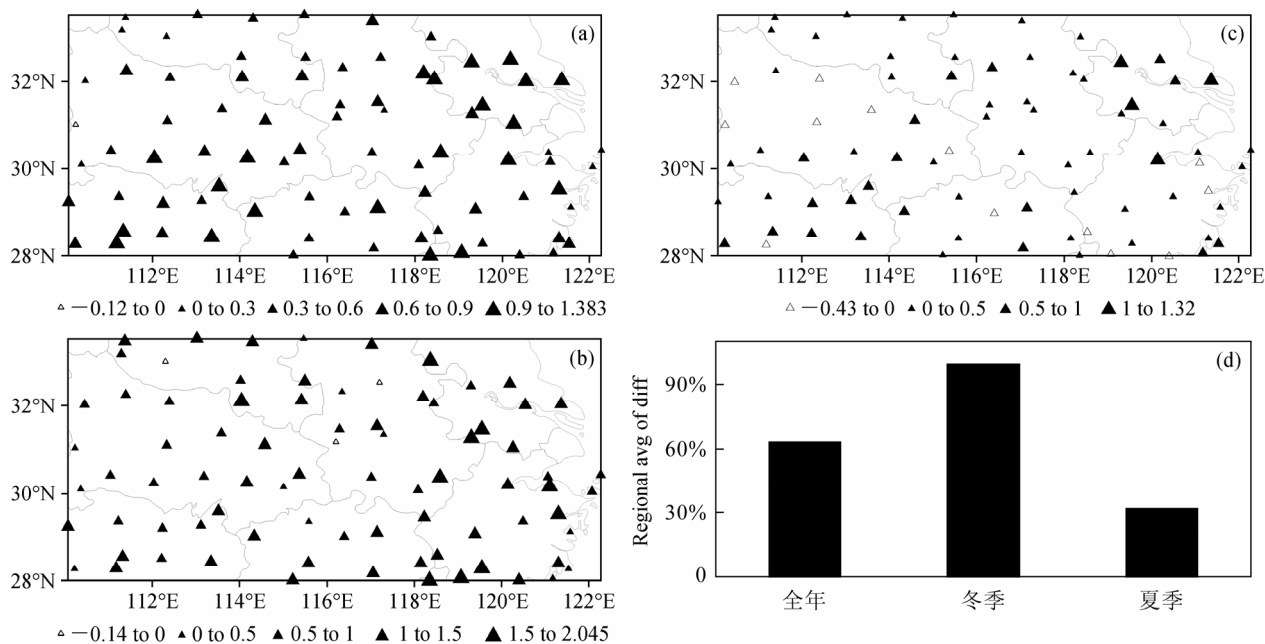


图 4 江淮地区微量降水日数贡献率冷、暖年差异的 (a) 全年、(b) 冬季、(c) 夏季空间分布及 (d) 区域平均情况

Fig. 4 Spatial distribution of (a) annual, (b) winter, and (c) summer averages and (d) the regional averages for the differences of precipitation days contribution of light rain days to the total rain days between the warm years and cold years in the Yangze-Huaihe River basin

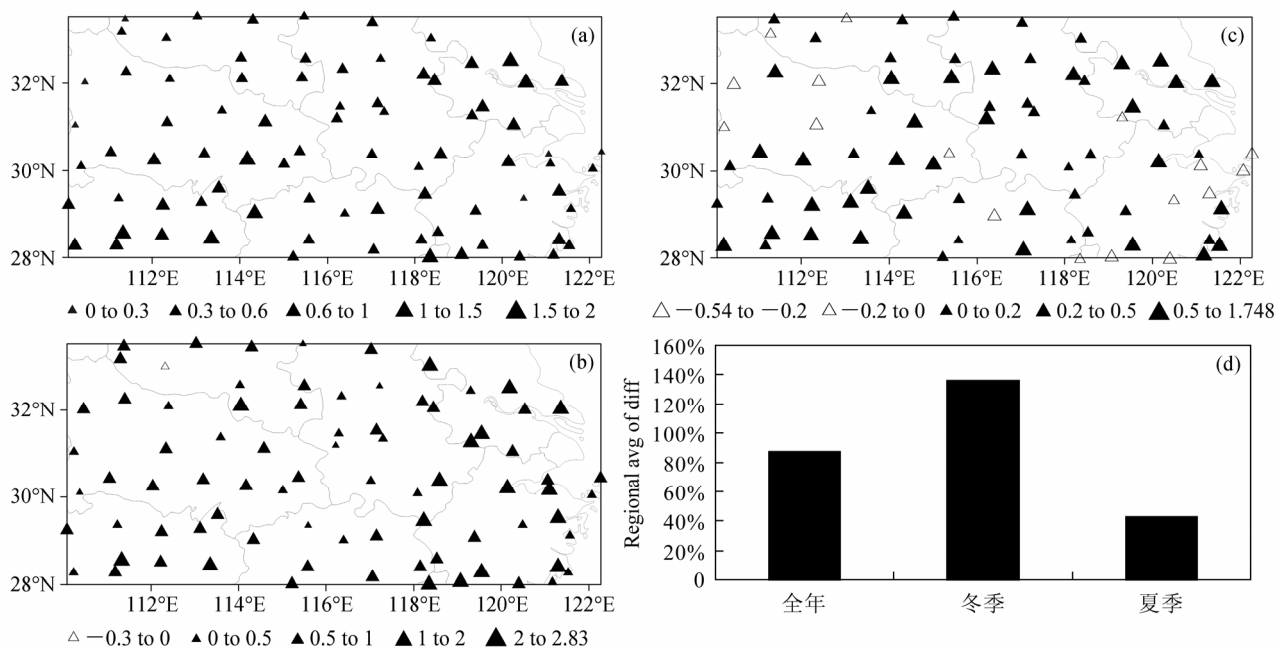


图 5 江淮地区微量降水量贡献率冷、暖年差异的 (a) 全年、(b) 冬季、(c) 夏季空间分布及 (d) 区域平均情况

Fig. 5 Spatial distribution of (a) annual, (b) winter, and (c) summer averages and (d) the regional averages for the differences of precipitation amount contribution of light rain days to the total rain days between the warm years and cold years in the Yangze-Huaihe River basin

图 4b 和图 4c 给出了冷、暖年冬季和夏季的微量降水日数贡献率的差异情况。可以看到, 冬季差异更为明显, 江淮东北部仍然是差异最大的地区, 暖年里大部分站点比冷年减少了 100% 以上; 这种情况在夏季略有所缓和, 大部分地区差异都在 50% 以下, 部分站点出现了暖年多于冷年的负差异情形, 不过这种负差异并不大。

微量降水总量贡献率的差异的冬夏季对比情况见图 5b、5c。冬季方面, 全区差异基本一致, 暖年比冷年普遍减少了 50% 以上, 区域的东部为差异大值区。夏季差异的一致性没有冬季强, 区域西北和东南部分站点出现了暖年微量降水贡献比冷年多的情况, 但从整体上看, 暖年微量降水量贡献比冷年少的这一特征基本能够体现。

结合图 4d、5d 我们可以得到这样的结论, 在全球更为温暖的年份里, 江淮地区微量降水的贡献率减小。其中冬季比夏季减少的更为明显, 江淮区域暖年冬季的微量降水贡献率甚至比冷年减少了 100% 以上。以上的分析都通过了 99% 信度检验。而从前面的分析中已经看到, 温暖的年份里降水总日数已经较冷年变少, 这也就意味着在全球温度较高的年份里, 微量降水会大幅度减少。冬季作为江淮地区相对干燥的一个季节, 微量降水对于土壤的给养作用至关重要, 冬季微量降水的减少, 将使得该地区干旱灾害发生的可能性增加。

3.4.2 极端强降水贡献率的差异分布及对比

图 6 和图 7 给出了冷、暖年里极端强降水贡献率的差异情况。极端强降水日数贡献率的年差异基本呈现一致: 暖年的极端强降水贡献率比冷年更大, 这一点从图 6a 中可以体现出来, 暖年极端强降水日数贡献率比冷年高出 30% 左右。而冷、暖年里极端强降水量贡献率的差异, 如图 7a 所示, 具有一定的空间差异, 如江苏和浙江的部分站点出现了暖年的强降水量贡献率小于冷年的情形。但从整个区域来看, 暖年的强降水量贡献率还是要多于冷年, 约为 13% 左右。强降水日数和强降水量贡献率的大值区均出现在区域的西南部。

极端强降水日数贡献率差异的冬夏季对比反映在图 6b 和 6c 中。暖年冬季的极端降水日数贡献率基本都要大于冷年冬季。这种情形在全区基本一致, 但在湖北省西北部与河南省南部地区, 部分站点出现相反的情况。而除此地区外, 整个区域情况一致, 并且冬季的差异比全年更大, 这种差异的高

值区主要集中在东部沿海地区, 该地区暖年冬季的强降水日数的贡献比冷年高出了 100% 左右。夏季差异的一致性要弱于冬季, 且暖年极端降水日数贡献率比冷年小的站点的空间分布较为零散, 浙江北部为具有相反差异的站点相对集中的地区。但从整个区域来看, 还是体现出了暖年强降水日数贡献率更大的这一特征。

图 7b、7c 给出了极端强降水量贡献率差异的冬夏季对比情况。可以看到, 冬、夏季差异的空间分布十分相似, 负异常的站点集中出现在江淮地区西北部, 除此之外, 其他地区暖年强降水量贡献率都大于冷年。江淮西南以及东部沿海地区是这种差异最大的地区, 大多站点暖年的强降水量贡献率比冷年高出 50% 以上。需要特别引起注意的是, 对比图 6c 和图 7c, 暖年的强降水对总量贡献率大于冷年, 而强降水日数的贡献率却小于冷年, 江淮东部个别站点夏季具备这样的特征。强降水总量增加而雨日数减少, 这是由于平均降水强度的增强所导致。

图 6d 和图 7d 反映了江淮地区冷、暖年极端强降水贡献的平均差异情况。无论从降水量贡献率还是降水日数贡献率方面来看, 暖年的极端强降水所占比重都要大于冷年。这种差异在强降水日数上体现的更明显一些。其中冬季仍是最显著的季节, 江淮地区暖年冬季强降水日数贡献率和强降水量贡献率分别比冷年冬季高出 65% 和 20%。以上的分析都通过了 99% 信度检验。

综合分析, 我们可以看到, 就整个区域的平均状况而言, 微量降水和极端强降水对总降水的贡献率在冷、暖年里出现显著的差异, 这种差异在整个区域基本一致: 全球温度升高, 江淮地区微量降水贡献减小, 强降水日数贡献增大, 这种现象导致出现干旱和洪涝灾害的可能性都将增加。暖年的微量降水日数和总量的贡献率分别比冷年减少了 60% 和 80% 以上, 极端强降水日数和总量的贡献率分别比冷年增加了 30% 和 13% 左右, 可以看到, 微量降水的变化大于强降水的变化。从季节方面来看, 无论是微量降水还是强降水, 冬季的变化比全年及夏季对全球变暖的响应更强烈。此外, 在不同的季节里, 这种差异存在一定的区域性和局地性。

以上观测资料分析表明, 在近 50 年全球变暖的背景下, 江淮地区降水强度的分布结构出现了强降水增多, 弱降水减少的显著两极分化特征。近期不少气候模式也对未来情景下不同强度降水的变

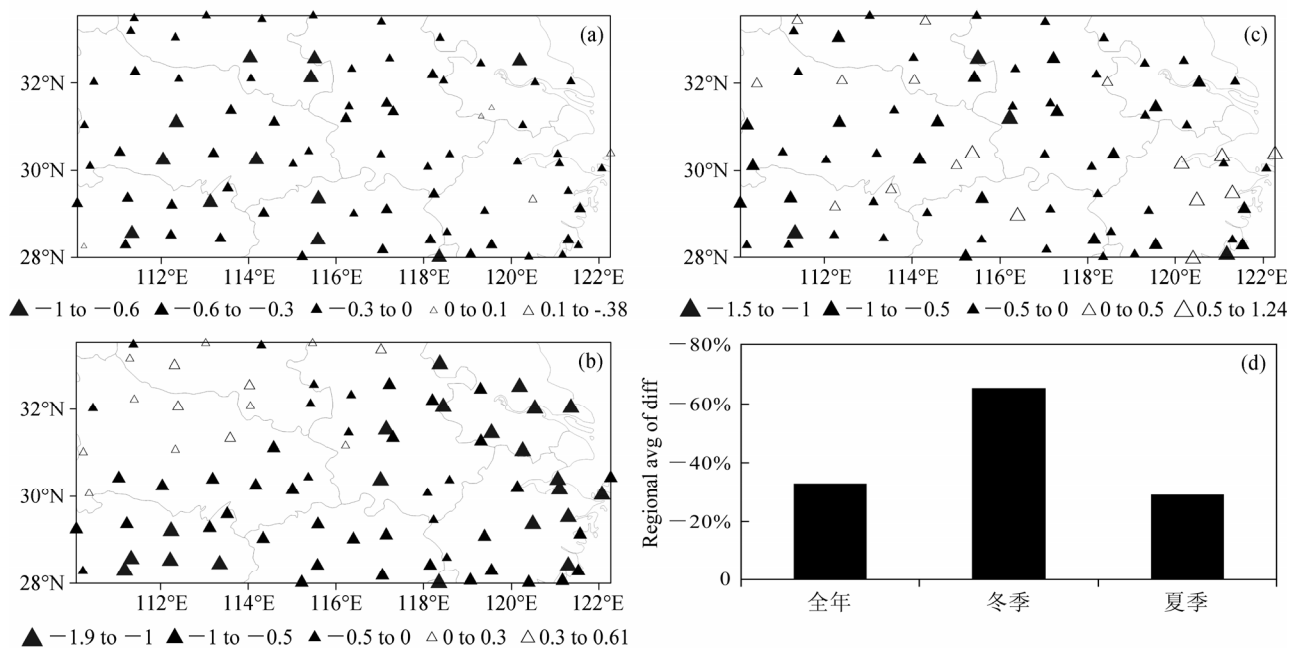


图6 同图4, 但为极端强降水日数贡献率的冷、暖年差异

Fig. 6 Same as Fig. 4, but for the heavy rain

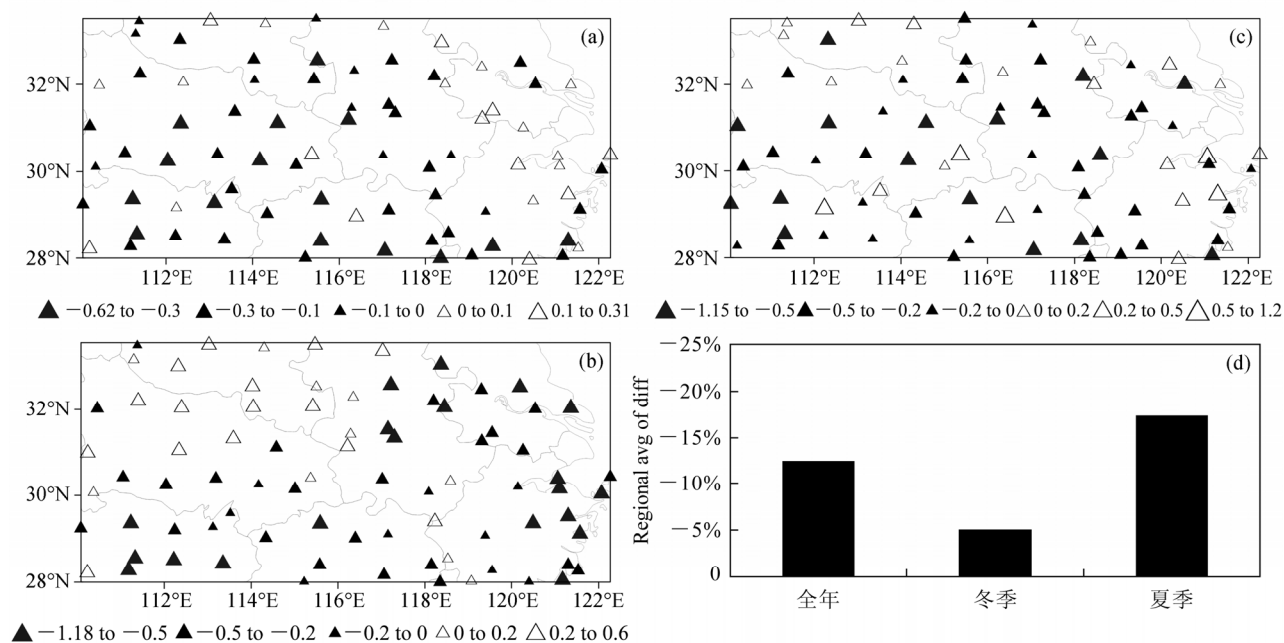


图7 同图5, 但为极端强降水量贡献率的冷、暖年差异

Fig. 7 Same as Fig. 5, but for the heavy rain

化进行了预估研究, 如朱坚等(2009)等利用全球海气耦合气候模式 MIROC_Hires、石英等(2010)利用高水平分辨率区域气候模式 RegCM3 对中国地区未来降水的模拟均表明, 变暖情景下, 21 世纪末我国大部分地区弱降水频数将减少, 强降水频数将增加; Sun et al. (2007) 利用 CMIP3 的 17 个海气耦合模式结果研究也发现, 变暖情景下, 所有模式一致显示出了未来全球强降水将更加频繁的特征。

显然, 通过观测与模拟的对比, 进一步分析全球变暖对降水各种分布结构变化的影响, 有助于提高变暖对全球水循环影响机理的认识。

4 结论与讨论

利用 1961~2006 年江淮地区 80 个站点的逐日降水资料, 比较了全球气候冷、暖背景下该区域降

水强度的分布结构特征, 得到以下主要的结论:

(1) 在全球温度较高和较低的年份里, 江淮地区平均降水总量、日数和强度存在明显差异。暖年的降水强度分布结构较冷年出现两极化特征, 尤其在极端强降水和微量降水部分十分显著。暖年的极端强降水日数和总量贡献率分别比冷年高出了 30% 和 13% 左右; 而微量降水日数和总量贡献率分别比冷年低 60% 和 80% 以上, 且这种差异在冬季更为明显。

(2) 较暖气候下江淮地区微量降水贡献减小, 强降水贡献增大, 这种现象在整个区域的分布基本一致。其中冷、暖背景下微量降水贡献率的变化大于强降水贡献率的变化, 此外, 这种差异还存在一定的季节性和局地性。

本文仅对全球变暖背景下江淮地区降水强度分布结构变化的特征进行了分析, 但对于气候背景不同的地区, 全球变暖对其降水强度分布结构带来的影响及机理仍需深入探讨。

参考文献 (References)

- Allan R P, Soden B J. 2008. Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes [J]. *Science*, 321: 1481–1484.
- Bonsal B R, Zhang X, Vincent L A, et al. 2001. Characteristics of daily and extreme temperature over Canada [J]. *J. Climate*, 14 (9): 1959–1976.
- Cai M, Ding Y G, Jiang Z H. 2007. Extreme precipitation experimentation over eastern China based on L-2moment estimation [J]. *Plateau Meteor* (in Chinese), 26 (2): 309–317.
- Fujibe K, Yamazaki N, Katsuyama M, et al. 2005. The increasing trend of intense precipitation in Japan based on four-hourly data for a hundred years [J]. *SOLA*, 1: 41–44.
- Gu G L, Adler R F, Huffman G J, et al. 2007. Tropical rainfall variability on interannual-to-interdecadal and longer time scales derived from the GPCP monthly product [J]. *J. Climate*, 20: 4033–4046.
- Gutowski W J Jr, Takle E S, Kozak K A, et al. 2007. A possible constraint on regional precipitation intensity changes under global warming [J]. *J. Hydrol.*, 8: 1382–1396.
- Held I M, Soden B J. 2006. Robust responses of the hydrological cycle to global warming [J]. *J. Climate*, 19: 5686–5699.
- IPCC. 2007. The Physical Science Basis [M]. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.
- Karl T R, Knight R W. 1998. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79 (2): 231–241.
- Karl T R, Trenberth K E. 2003. Modern global climate change [J]. *Science*, 302: 1719–1723.
- Lau K M, Wu H T. 2007. Detecting trends in tropical rainfall characteristics, 1979–2003 [J]. *International Journal of Climatology*, 27: 979–988.
- 李红梅, 周天军, 宇如聪. 2008. 近四十年我国东部盛夏日降水特性变化分析 [J]. *大气科学*, 32 (2): 358–370. Li Hongmei, Zhou Tianjun, Yu Rucong. 2008. Analysis of July–August daily precipitation characteristics variation in eastern China during 1958–2000 [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Science* (in Chinese), 32 (2): 358–370.
- Liu S C, Fu C B, Shiu C J, et al. 2009. Temperature dependence of global precipitation extremes [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 36 (17): L17702, doi: 10.1029/2009GL040218.
- Qian W H, Fu J L, Yan Z W. 2007. Decrease of light rain events in summer associated with a warming environment in China during 1961–2005 [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 34 (11): L11705, doi: 10.1029/2007GL029631.
- 石英, 高学杰, Giorgi F, 等. 2010. 全球变暖背景下中国区域不同强度降水事件变化的高分辨率数值模拟 [J]. *气候变化研究进展*, 6 (3): 164–169. Shi Ying, Gao Xuejie, Giorgi F, et al. 2010. High resolution simulation of changes in different-intensity precipitation events over China under global warming [J]. *Advances in Climate Change Research* (in Chinese), 6 (3): 164–169.
- Shiu C J, Liu S C, Chen J P. 2009. Diurnally asymmetric trends of temperature, humidity, and precipitation in Taiwan [J]. *J. Climate*, 22: 5635–5649.
- Sun Y, Solomon S, Dai A, et al. 2007. How often will it rain? [J]. *J. Climate*, 20: 4801–4818.
- Trenberth K E. 1998. Atmospheric moisture residence times and cycling: Implications for rainfall rates and climate change [J]. *Climatic Change*, 39: 667–694.
- Trenberth K E, Dai A, Rasmussen R M, et al. 2003. The changing character of precipitation [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 84: 1205–1217.
- 王小玲, 翟益茂. 2008. 1957–2004 年中国不同强度级别降水的变化趋势特征 [J]. *热带气象学报*, 24 (5): 459–466. Wang Xiaoling, Zhai Panmao. 2008. Changes in China's precipitation in various categories during 1958–2004 [J]. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 24 (5): 459–466.
- 严中伟, 杨赤. 2000. 近几十年中国极端气候变化格局 [J]. *气候与环境研究*, 5(3): 267–272. Yan Zhongwei, Yang Chi. 2000. Geographic patterns of extreme climate changes in China during 1951–1997 [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 5 (3): 267–272.
- Zhai P M, Zhang X B, Wan H, et al. 2005. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China [J]. *J. Climate*, 18: 1096–1108.
- 朱坚, 张耀存, 黄丹青. 2009. 全球变暖情景下中国东部地区不同等级降水变化特征分析 [J]. *高原气象*, 28 (4): 889–896. Zhu Jian, Zhang Yaocun, Huang Danqing. 2009. Analysis of changes in different-class precipitation over eastern China under global warming [J]. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 28 (4): 889–896.